

研 究 報 告 書

「作業プロセスの環境非依存化による作業集合知の形成」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成21年10月～平成27年3月

研 究 者: 長谷川 晶一

1. 研究のねらい

料理やスポーツのような身体を用いて行う作業には様々な知識が含まれている。しかし次のような困難があるため、知識を取り出して集積し、集合知を作ることは容易でない。

1. 無意識の問題: 熟達につれて知識が身につく意識なくなるため、熟達者でも技に関する知識に気づいてそれを言語化して伝えることは容易でない。

2. 環境依存性: 作業の動作は、身体、環境によって変わるため、動作の中の技に関わる点に着目して言語化する必要がある。

3. 言語の問題: 言葉が指す内容は、使われることで、使用者間で一致していく。多くの人々がお互いの姿を見ながら作業を言葉で説明する環境がなければ言葉が指す内容は一致しない。

これらの問題を解消することで、作業の知識を獲得して集合知を作成可能にすることが本研究のねらいである。

料理のような作業やスポーツ等の技の伝承では、指導者は学習者を観察することで、学習者が必要としている知識を意識し、学習者の状況を想像して指示することができる。この指示を集積することができれば、作業の集合知が作成できると考えられる。しかし、2. 状況依存性と3. 言葉の問題があるため、そのままでは集積できない。そこで本研究では、テーマ A 作業環境と学習者をシミュレータ内に作り、人工言語で作業の指示を行うことで、言語と環境を統一した上で指示を収集することと、テーマ B 言語化しやすい感覚指標を提示することで、言語を統一して指示を収集することをめざす。

2. 研究成果

(1) 概要

研究テーマ A「解釈統一のためのシミュレーション」

料理について、作業環境と学習者をシミュレータ内に作り、人工言語で作業の指示を行うことで、環境と言語を統一した上で指示を収集することを目的に、シミュレータの研究開発を行った。

まず、実験により、学習者の映像だけを見ることで、指導者が様々な知識に気づき適切な指示を追加できることを確認した。この仕組の学習者と指示に用いる言語を統一するために、バーチャルな作業環境と学習者をシミュレータ内に作ることを目指し、シミュレータの研究開発を行った。料理で生じる現象は多岐にわたり、全部を再現可能なシミュレータの開発には時間がかかる。そこで、焼き調理再現のためのシミュレータを開発した。焼き調理では、食材の配置を変化させながら伝熱させて食材を加熱し、物理化学変化を生じさせる。これを再現するため、配置の変化と伝熱を少ない計算量で再現するシミュレーション手法を提案し、シミュレータを開発した。

ところで、加熱調理では、食材表面に現れる液体による見た目や音の変化や、硬さの変化を手がかりに火加減を調節する。そこで、食材内の流体移動のシミュレーション、食材表面に現れる流体の映像表現手法、食材の変形のシミュレーション手法について研究開発を行った。

研究テーマ B「感覚指標提示による運動の言語化の同一化」

言語化しやすい感覚指標を提示することで言語を統一して知識を収集することをめざし、スキー中に加重中心位置を音程と音量として聴覚提示することを提案した。これにより提示感覚を指標として運動の統一した言語化が実現できると考えられる。実験により実現の可能性が示された。

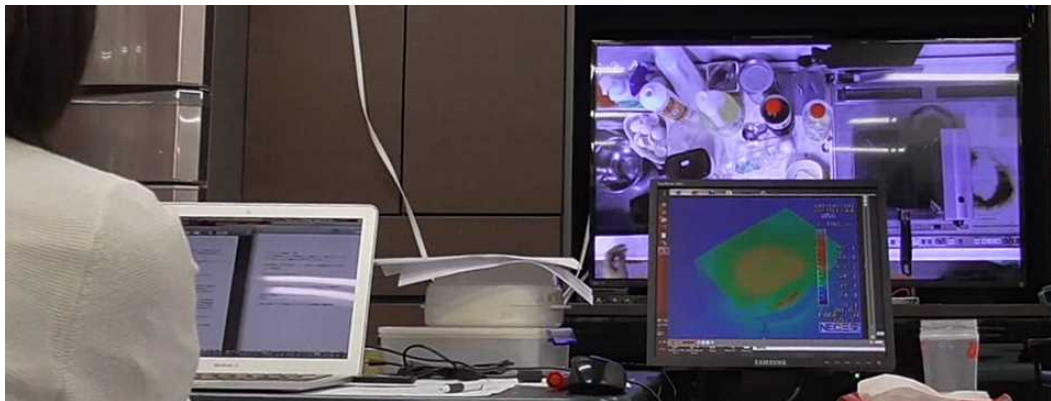
(2) 詳細

研究テーマ A「解釈統一のためのシミュレーション」

バーチャルな作業環境と学習者をシミュレータ内に作り、人工言語で作業の指示を行うことで、環境と言語を統一した上で指示内容を収集することを目的に研究開発を行った。

1. 知識獲得手順の有効性の確認

初心者学習者が指示に基づいて作業をする際の映像を観察することで、指導者が自己の知識に気づき、学習者への指示を加筆修正できることを確認した。具体的には、指導者が記したレシピにしたがって料理初心者である学習者が調理を行う。指導者は学習者による作業が自己の考える作業と異なることに気づき、レシピの指示を加筆修正する。学習者の作業が指導者の考えと一致するまで繰り返した後、別の初心者がレシピに従い作業したところ、指導者の考える調理を行うことができた。以上から、学習者を用意することで知識に気づくことができ、映像提示だけでも効果があることが確認できた。



学習者の調理映像を見ながらレシピを加筆修正する指導者

この知識獲得手順では、作業と指示に用いる言葉の解釈が、作業環境と学習者に依存する。これを統一するため、作業環境と学習者を計算機シミュレーションによって構築することを目指し、作業環境シミュレータを作成した。

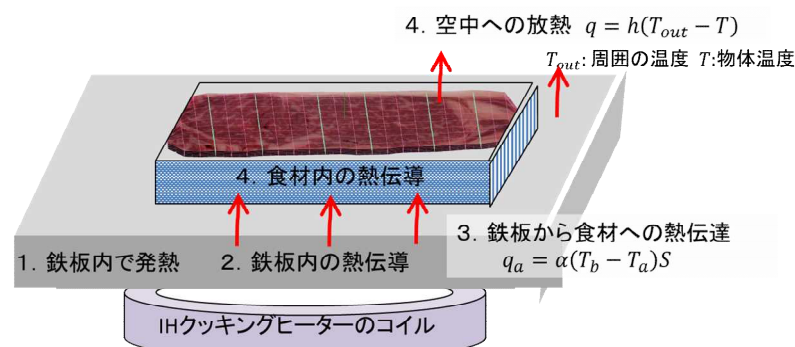
2. 作業環境シミュレータの作成

料理で生じるすべての現象を再現可能な作業環境シミュレータの開発には時間がかかる。

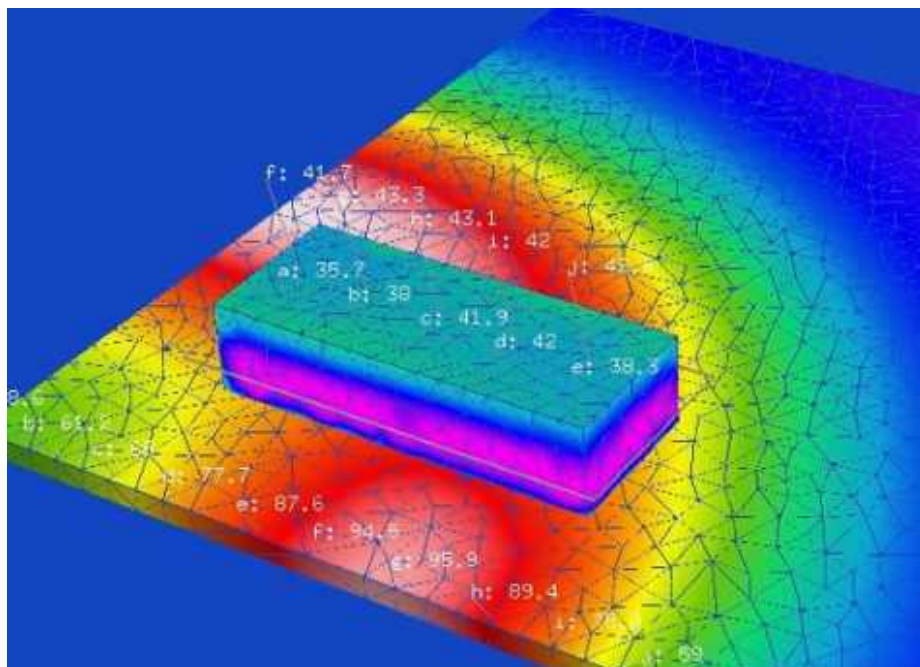
そこで、焼き調理再現のためのシミュレーションを目標とした。焼き調理では、食材の配置を変化させながら伝熱させて食材を加熱し、物理化学変化を生じさせる。これを再現するため、配置の変化と伝熱を少ない計算量で再現するシミュレーション手法を提案した。

2.1 加熱のシミュレーション

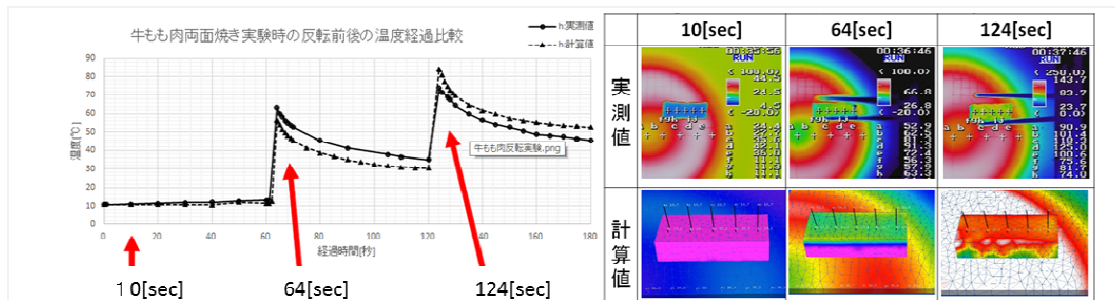
食材の運動には剛体の動力学シミュレータを用い、伝熱は、物体内の熱伝導、物体間の熱伝達、空気への放熱や輻射熱による放熱、調理器具(IHヒータ)からの加熱を、有限要素法を用いてシミュレーションする。ヒータの加熱量、物体間の伝熱、空気への放熱の係数は不明なので、熱カメラにより現実の加熱調理を計測し、シミュレーションと計測が合致するように同定した。これにより、焼き調理中の食材の温度変化を(食材数が少なければ高性能なPCで、実時間で)シミュレーションできることを示した。



加熱シミュレーションの対象

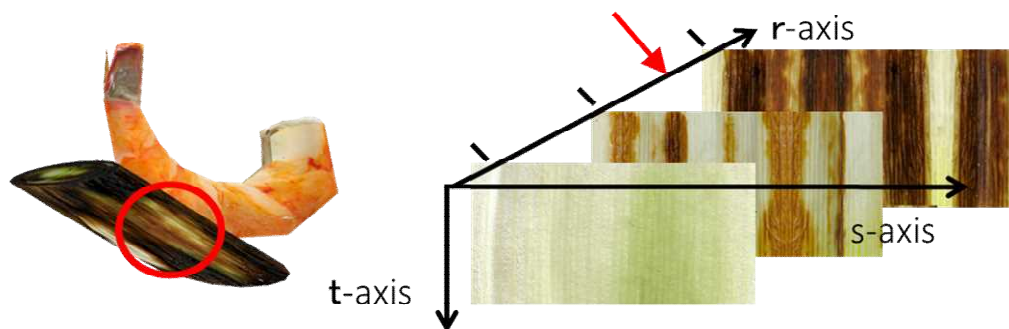


リアルタイム加熱シミュレーションの可視化映像



現実の加熱調理との比較

また、加熱調理に応じた食材の色変化を表現する手法を開発した。温度による水分量の変化とこれらに連れて生じる褐色化・炭化は、食材加熱時の水分量変化におおよそ対応する。そこで、食材を加熱しつつ、水分量と画像(スキャナにより取得)を記録し、食材モデルの部位(頂点)ごとの水分量に対応する画像をテクスチャとして用い、補間して表示する。これにより、一つの食材の一部だけが加熱されて温度が上昇しすぎた場合などに生じる褐色化や炭化を表現することができた。

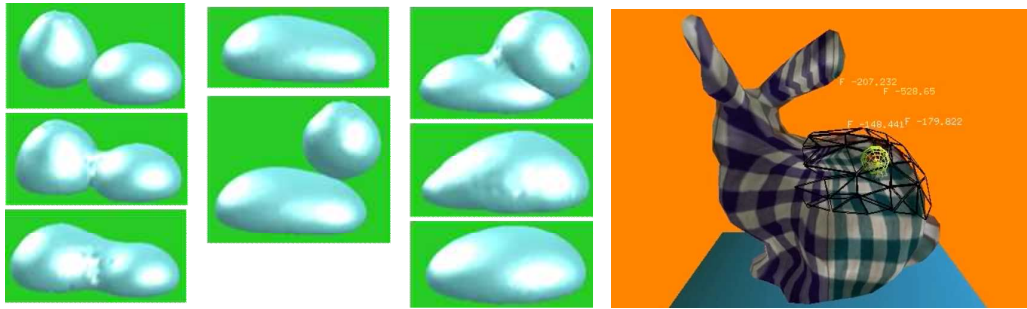


色変化の映像表現:頂点毎に異なる深度のテクスチャを用い部分毎の変化を表現

制作したシミュレータの機能を評価するため、力覚インタフェースと映像ディスプレイを付け、ステーキのレシピを参考に調理作業を再現したところ、シミュレータの誤差に応じて誤った火加減を習得することが観察された。そこで、実際に食材を加熱した場合の温度変化を熱カメラで記録し、再現できるようにシミュレーションのパラメータ(放熱率、加熱量、熱伝達率)を同定した。これにより正確なシミュレーションが可能になった。

2.2 加熱に伴う食材変化のシミュレーションと表現

ステーキのレシピなどには、食材表面に現れる液体による見た目や音の変化や、硬さの変化を手がかりに火加減を調節するような指示があり、調理作業の知識獲得のためには、シミュレータにこれらの再現が求められると考えられる。そこで、食材内の流体の移動のシミュレーション、食材表面に現れる流体の映像表現手法、食材の変形のシミュレーション手法について研究開発を行った。



表面モデルによる流体シミュレーションと Oriented Particle による変形のシミュレーション

食材内の流体移動シミュレーションは、多孔質内の水分移動の法則であるダルシーの法則を水分油分に拡張した支配方程式を有限要素法でシミュレーションすることで行った。現実の食材加熱との比較、同定を今後進めたい。食材内の水分移動が食材表面に向けて起こると、食材表面が濡れた状態となり、さらに液体が増加すれば液滴となり表面を移動し始める。これらを高速にシミュレーションするために、表面形状だけをモデルとして持つ擬似流体シミュレーションの開発を行い、液滴の融合を再現できることを確認した。今後食材のシミュレーションに統合し、濡れた食材表面の映像表現手法も含めて研究を進めたい。

食材は柔軟物であり加熱により柔軟性が変化する。この変化も火加減等の調節の手がかりとなっている。柔軟物の変形のシミュレーションは有限要素法で行うと、剛性行列の更新が必要になり、時間がかかることが知られている。そこで、Oriented Particle という Shape Matching(幾何的な変形アルゴリズム)による変形を利用して高速に変形をシミュレーションする手法を、動力学シミュレーションと合わせて利用することを試みている。

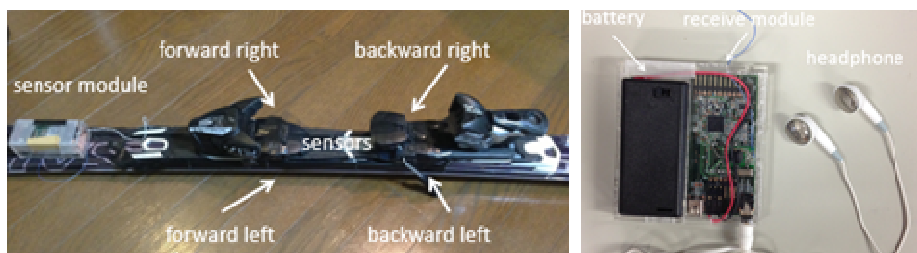
3. 学習者のシミュレーションモデル

指示言語統一のため、プログラミング言語(Python)を用いて作業環境内の食材や調理器具を直接動かしたり力を加えたりすることで作業を行う、最小限の学習者モデルを作成した。プログラミング言語に用意した機能は、火加減を調節する、力を加える、調理器具内の食材の向きを反転するといったプリミティブな操作だが、ライブラリとして利用できるクラスや関数を作ることで、複雑な処理を一言で指示できるようになる。

研究テーマ B「感覚指標提示による運動の言語化の同一化」

言語化しやすい感覚指標として、スキー滑走中の加重を音程・音量により感覚提示し、滑走時の運動の言語化に共通の指標を与えることで言語化を同一化することを目指す。スキー滑走の制御の半分は加重制御により行われるため、加重の時間変化を、注意を向けやすく滑走中にあまり利用していない聴覚に提示することで、提示音の抑揚表現、言語表現による指示を可能にする。

フィルム型力センサによる計測とマイコンによる可聴化システムを開発して実験を行ったところ、初級者が加重中心を認識できるようになり、前傾姿勢の指示に従った加重中心で滑走できた。また、中上級者2名がショートターンを行ったところ、1名がバランスを崩す数ターン前に加重の乱れがあることを発見し、提示音を用いた言語・抑揚表現によりもう1名に伝えたところ、もう1名も同様の現象を発見でき、感覚指標提示の効果が観察された。



フィルム型力センサによる計測とマイコンによる可聴化システム

3. 今後の展開

研究テーマ A「解釈統一のためのシミュレーション」については、これまでに、初心学習者への指示として調理作業の知識獲得を行う手法の有効性を確認し、指導者からの知識獲得のための、調理作業環境のシミュレーションモデルを作成した。また、現実の調理を正確に反映する焼き調理のシミュレータが完成まであと30%程度となった。プログラミング言語による指示により調理作業を行う学習者シミュレーションモデルにより作業を行い、作業過程と結果を映像提示できることを確認した。

今後、焼き調理のシミュレータを完成させ、プログラミング言語を用いていくつかのレシピをシミュレーションし、共通ライブラリを作成する。次に、共通ライブラリを元に、レシピの手順木に基づいて調理を行う学習者シミュレーションモデルを作成する。手順木入力のための GUI やシミュレーション映像の提示を行う Web アプリを作成し、レシピを入力すると、対応する料理のシミュレーション映像を作成する Web サービスを作成する。これにより、記述を統一した形で調理作業の知識を収集することを目指す。

研究テーマ B「感覚指標提示による運動の言語化の同一化」については、原理の確認と有効性を示唆する事象が観察された。今後、統制された実験、指導者との共同研究を進め、スポーツの練習、指導への応用を目指す。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

研究目的の達成状況:

提案時に研究計画を実行可能な範囲に絞り込めていなかったこと、調理シミュレーションの開発に見積の2倍程度の時間を要していることがあり、研究期間が足りず当初の目標を達成することはできなかった。しかし、期間中に研究方針と方法の明確化ができたので、今後の研究により、目標を達成できると考えている。また、研究過程で得られた成果には多くの波及効果が期待される。

研究の進め方:

研究方針の検討に時間を要したこと、研究機関の異動があったことがあり、研究実施体制を整え、研究を推進するために時間を要した。研究は、ほぼ私と研究室学生によって実施した。当初の見通しよりも、シミュレーション手法の研究開発に時間を要したため、計画通りの研究を期間内に進めることができなかった。研究費の執行も計画通りに行うことができなかった。

波及効果:

物体運動により熱伝達が変化する状況を高速にシミュレーションする手法を確立したことは、研究過程での重要な成果であり、これまで計測とモデル化が難しかった加熱調理の食材への影響を予測することが可能になる。また、シミュレーションでは内部まで可視化することができるので、安全な調理のガイドライン作成等にも役立つと考えられる。また、複数の有限要素法モデルのインタラクションを高速にシミュレーションするために利用できるため、人が物体操作の手がかりとして利用している物体振動の触覚提示への応用も期待される。

当初の目標を達成でき、Web アプリとしてのサービスを開始できれば、人々が持つ料理についての知識が収集でき、料理の分析(栄養・食感・健康性といった食品機能や安全性の分析)、料理文化の流通や発展につながると考えられる。また、作業には、気づくことの難しい暗黙の知識が含まれていること、それを引き出して形式知化するためには学習者が必要なことを、多くの人に気づかせる効果もあると思われ、人の身体知・暗黙知についての意識改革につながることも見込める。

言語化しやすい感覚指標の提示では、軽量で安価な装着型の計測装置が設計可能なこと、提示遅れの影響に見通しを与え、無線化したセンサの設計を可能にしたことは研究過程での成果であり、スキー競技者、指導者に興味を持ってもらうことができた。また、自己の身体像のずれを指標により修正できた初級者が観察できたこと、同一の言語化により容易に意思疎通できることが観察できたことは、研究過程での発見であり、今後再現性のある実験による検証が期待される。

当初の目標を達成でき、感覚指標に基づいて言語化抑揚表現化された技についての知識を流通させることができれば、自己の身体の認識と制御をあまり正確に行うことができなく本格的にコーチに習う機会も少ない一般の人や運動の苦手な人に、スポーツの楽しさを伝えるツールにもなり得るので、人々の健康増進につながると考えられる。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

作業の計測や記録を集積して集合知とすることで、作業と結果の改善や支援、作業内容の検討や討議の支援を行う研究である。作業手順に実行環境を与えることによる知識獲得支援手法と、感覚提示による記述獲得支援手法を提案し、必要なシミュレーション技術、計測提示技術の開発を行ってきた。着眼点、アプローチに独自性があり、バーチャルリアリティ分野での実績もあり、作業の集合知の実現に取り組み、その過程で発見される研究課題が解決されることを期待した。期間内の研究成果は、加熱調理のシミュレーションと感覚提示技術に時間を要し、集合知の実現に取り組むには至っていないのは残念である。人工知能という、研究者が信じる新規分野に果敢に挑戦してきたが、一方で、人工知能技術で何が可能かという洞察が十分でなかったように思われる。研究成果のリストにあるように、物理シミュレーションでは最優秀論文賞を得る力を有している。本さがけ研究を通じて様々な研究領域との交流を行い、広い視野を備えてきているので、今後の飛躍を期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1) 論文(原著論文)発表

1. Shoichi Hasegawa, Yukinobu Takehana, Alfonso Balandra, Hironori Mitake, Katsuhito Akahane and Makoto Sato. Vibration and Subsequent Collision Simulation of Finger and Object for Haptic Rendering. Published in Euro Haptics 2014, Haptics: Neuroscience, Devices, Modeling, and Applications Lecture Notes in Computer Science. 2014, pp. 352-359.
2. Ikumi Susa, Yukinobu Takehana, Alfonso Balandra, Hironori Mitake, Shoichi Hasegawa: 'Haptic Rendering based on Finite Element Simulation of Vibration', Haptics Symposium, pp.123-128, 2014. (国際会議口頭発表予稿)
3. Fumihiko Kato and Shoichi Hasegawa. Interactive Cooking Simulator Showing food ingredients appearance changes in frying pan cooking. CEA '13 Proceedings of the 5th international workshop on Multimedia for cooking & eating activities. pp. 33-38, 2013. (国際会議口頭発表予稿)
4. Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiko Kato, Hironori Mitake, Makoto Sato: 'Realtime sonification of the center of gravity for skiing', AH '12 Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference, 2012. AH'12 Best Papers Awards.(国際会議口頭発表予稿)

(2) 特許出願

なし

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

国内会議

1. 柴田真一, 長谷川 晶一, 三武 裕玄 : 焼き調理における食肉中の液体成分移動シミュレーション, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, セッション 33E-6, 2014.
2. 大脇遼, 長谷川 晶一 : 自己運動とフィードバック音高の関係認識における遅れの影響, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 記事番号 12B-2, 2014.
3. 大脇遼, 長谷川 晶一 : スキーの加重中心の可聴化における時間遅れの影響, 日本スキー学会第 24 回大会講演論文集, pp.20-23, 2014.
4. Ding Haiyang, 長谷川 晶一, 三武 裕玄 : 方向情報つき粒子による変形物力覚レンダリング, 第 19 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, セッション 21A-4, 2014.
5. 長谷川 晶一, 石島 誠一郎, 加藤 史洋, 三武 裕玄, 佐藤 誠 : スキーのための加重のリアルタイム可聴化, エンタテインメントコンピューティング 2012 ワークショップ, 2012.
6. 加藤 史洋, 長谷川 晶一 : 料理シミュレーションのためのリアルタイム熱伝達・伝導シミュレーション, CEDEC, 2012.
7. 加藤 史洋, 長谷川 晶一 : 料理シミュレータのための有限要素法による熱伝導シミュレ

- ータ, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会論文集, セッション 32C, 2011.
8. 加藤 史洋, 三武 裕玄, 長谷川 晶一 : 体験型料理シミュレータ, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp.390-393, 2010.

受賞

1. The AH'12 Best Papers Awards for Shoichi Hasegawa, Seiichiro Ishijima, Fumihiro Kato, Hironori Mitake and Makoto Sato. Realtime Sonification of Center of Gravity for Skiing

解説記事

1. 長谷川 晶一, 三武 裕玄, 田崎勇一 : 動作行動開発のための物理エンジン Springhead, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.9, pp.841-848, 2012.